

УДК 631.48

UDC 631.48

06.00.00 Сельскохозяйственные науки

Agricultural sciences

**СОДЕРЖАНИЕ И СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗА В
ЧЕРНОЗЕМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ
ЗАПАДНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ В
УСЛОВИЯХ АГРОГЕНЕЗА**

**CONTENT AND STATE OF IRON IN WEST
LEACHED CHERNOZEMIC SOILS OF
WESTERN CISCAUCASIA UNDER
CONDITIONS OF AGROGENESIS**

Шеуджен Асхад Хазретович
д.б.н., профессор, член-корр. РАН, зав. кафедрой
агрохимии
SPIN-код: 9370-9411

Sheudzhen Askhad Khazretovich
Dr.Sci.Biol., professor, member corresponding of
Russian Academy Sciences, head of the
Agrochemistry department
SPIN-code: 9370-9411

Бондарева Татьяна Николаевна
к.с.-х.н.
SPIN-код: 5621-0334

Bondareva Tatiana Nikolaevna
Cand.Agr.Sci.
SPIN-code: 5621-0334

Гуторова Оксана Александровна
к.б.н.
SPIN-код: 3443-8774

Gutorova Oksana Alexandrovna
Cand.Biol.Sci.
SPIN-code: 3443-8774

Галай Нелля Сальмановна

Galai Nelly Salmanovna

Лебедовский Иван Анатольевич
к.с.-х.н., доцент кафедры агрохимии
SPIN-код: 5306-5690

Lebedovsky Ivan Anatolevich
Cand.Agr.Sci., associate professor of the
Agrochemistry department
SPIN-code: 5306-5690

Осипов Михаил Алексеевич
к.с.-х.н., доцент кафедры агрохимии
SPIN-код: 9010-8645

Osipov Mikhail Alexeevich
Cand.Agr.Sci., associate professor of the
Agrochemistry department
SPIN-code: 9010-8645

Есипенко Сергей Владимирович
к.с.-х.н.
SPIN-код: 3837-8593
*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия
Всероссийский научно-исследовательский
институт риса, Краснодар, Россия*

Esipenko Sergey Vladimirovich
Cand.Agr.Sci.
SPIN-code: 3837-8593
*Kuban State Agricultural University, Krasnodar,
Russia
All-Russian Rice Research Institute, Krasnodar,
Russia*

Представлены результаты изучения групп и форм соединений железа в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья за три ротации зерно-травяно-пропашного севооборота. При длительном использовании чернозема выщелоченного в условиях агрогенеза происходит существенные изменения в содержании различных групп и соединений железа. На не удобренном варианте севооборота валовое содержание этого элемента в 0-20 см и 21-40 см слое почвы на 69,4 и 66,5 % представлена силикатной и на 30,6 и 33,5 % свободной группой соединений железа. Применяемая система удобрения севооборота способствует снижению доли силикатной и увеличению – свободной группы его соединений. В черноземе выщелоченном группа

The results of study of groups and forms of iron compounds in leached chernozemic soils of Western Ciscaucasia for three crop rotations according to scheme grain-grass-hoeing are presented. With long-term use of leached black soil in terms of Agrigento there is a substantial change in the contents of the various groups and iron compounds. On the non-fertilized variant of rotation, the total content of this element in the 0-20 cm 21-40 cm soil layer by 69.4 and 66.5% of silicate and by 30.6% and 33.5% free group of compounds of iron. The applied system of fertilizer crop rotation helps reduce the silicate and increase of free group its compounds. In leached black soil a group of desilicated iron in the 0-20 cm layer 24.8 % presents crystallizability and to 75.2% amorphous compounds, 21-40 cm layer, respectively, 26.2 and 73,8 %. Under the influence of fertilizers we

несиликатного железа в 0-20 см слое на 24,8 % представлена окристаллизованными и на 75,2 % аморфными соединениями, в 21-40 см слое соответственно – на 26,2 и 73,8 %. Под воздействием удобрений возрастает содержание в почве аморфных и снижается количество окристаллизованных форм соединений этого элемента. Количество различных групп и форм соединений железа в черноземе выщелоченном при систематическом применении удобрений в севообороте определяется не только и не столько размерами привнесения данного элемента в качестве примесей, а такими процессами, как отчуждение железа с дополнительно получаемой продукцией, увеличение его подвижности в почве вследствие сдвига реакции почвенного раствора, изменения фракционно-группового состава гумуса. Диагностическими критериями состояния железа в черноземе выщелоченном являются количественные соотношения содержания в нем различных групп и форм соединений этого элемента

Ключевые слова: ЧЕРНОЗЕМ
ВЫЩЕЛОЧЕННЫЙ, СЕВООБОРОТ, ЖЕЛЕЗО

have noticed increasing of amorphous and reducing the number of cristallizing forms of the compounds of this element the soil. The number of different groups and forms of iron compounds in leached black soil with systematic use of fertilizers in crop rotation is determined not by the size of introducing this element as impurities, and processes such as the alienation of iron with additional derived products, increase its mobility in the soil due to a shift in the reaction of the soil solution, changes in fractional-group composition of humus. Diagnostic criteria state of iron in the soil are leached quantitative ratio of the content of the various groups and forms of the compounds of this element

Keywords: LEACHED BLACK SOIL
(CHERNOZEM), CROP ROTATION, IRON

Железо относится к числу сидерофильных элементов (типичных металлов), имеющих химическое сродство к углероду (карбонаты), фосфору (фосфаты), сере (сульфаты, сульфиды) и кремнию (силикаты). При окислительном выветривании и почвообразовании образуются и накапливаются в биосфере минералы железа, преимущественно оксиды и гидроксиды, слаборастворимые и геохимически относительно инертные. Железо – один из главных компонентов литосферы. Его кларк в земной коре равен 5,0 %, почве - 3,8 %, речных водах – 67,0 мкг/л, коэффициент биологического поглощения – 0,01-0,1 [12].

Валовое содержание железа в почвах колеблется в широких пределах – от 0,05 до 15 %; ожелезненные почвы и почвенные горизонты или конкреции могут содержать до 20 и даже до 60 % железа [5]. Минимальное содержание валового железа – 0,05-0,5 % свойственно торфяным и песчаным почвам. В черноземах и серых лесных почвах его содержится 3-6 %, сероземах и каштановых – 5-6, бурых лесных – 4-6,

солонцах – 5-7, красноземах – 8-15 % [10, 11, 13]. В кубанских черноземах оно находится в пределах 4,0-8,1 % [3, 8].

По валовому содержанию железа почвы делятся на семь групп (табл. 1).

Таблица 1 – Группировка почв по валовому содержанию железа [6]

Степень ожелезненности	Содержание железа, %
Очень низкая	< 0,5
Низкая	0,5-1,0
Умеренно низкая	1,1-3,0
Средняя	3,1-5,0
Умеренно высокая	5,1-10,0
Высокая	10,1-30,0
Очень высокая	> 30,0

Роль железа в почвообразовании многогранна. Выделяют следующие его функции: 1) образование комплексов с гумусовыми кислотами почв; 2) ферролиз – разрушение почвенных минералов в результате воздействия железа; 3) участие в формировании почвенных агрегатов; 4) каталитическая роль в реакциях разложения органических остатков [4, 7, 10, 13].

Содержание железа в почвах, его распределение по почвенному профилю и в пределах одного горизонта отражает направление и особенности почвообразовательного процесса: меняются цвет, агрегатное состояние, сорбционная способность [10].

Основными источником железа в почвах являются почвообразующие горные породы и их переотложенные и обогащенные или обедненные этим элементом делювиальные и аллювиальные дериваты. Дифференциация содержания железа в самих породах обусловлена составом железосодержащих минералов [7].

Формы соединений железа в почвах разнообразны. Железо входит в состав различных минералов и органического вещества почвы.

К наиболее распространенным почвообразующим минералам железа относятся: 1) гематит – встречается, главным образом, в почвах аридных, семиаридных и тропических регионов; как правило унаследован от материнских пород; 2) маггемит – образуется в сильновыветрелых почвах тропических зон и наиболее часто присутствует в скоплениях гематита, магнетита или гётита; 3) магнетит - унаследован обычно от материнских пород; в почвах тесно связан с маггемитом; 4) ферригидрит – нестабильный почвенный минерал, представляющий гетерогенную смесь 3-х компонентов: ультрадисперсного гематита, структурноупорядоченного и дефектного ферригидритов; 5) гётит – встречается во всех климатических зонах, от умеренной до тропической; 6) лепидокрокит – типичный минерал плохо дренируемых почв (например, почв рисовых полей) и почв умеренных гумидных районов, 7) ферроксигит – наиболее часто встречается в песчаных, дерново-подзолистых и бурых лесных почвах; 8) пирит, сульфид железа и ярозит – широко распространены в затопляемых почвах. Некоторая часть железа в почвах находится в составе алюмосиликатов – нонтронита, монтмориллонита, вермикулита, хлорита. Распространение в почвах тех или иных минералов железа связано с масштабами развития оксидогенеза [6, 13].

Оксидогенез железа оценивается как широко распространенный природный или антропогенный ландшафтнопедохимический процесс наследования, образования, накопления и превращения оксидов и гидроксидов железа, как в новообразованиях, так и в мелкозем. Он представляет собой элементарный почвенный процесс, распространенный в различных почвенно-климатических условиях, особенно в гумидных регионах. Оксидогенез является прогрессивным почвенно-экологическим процессом, когда он выражается в ограниченном накоплении в

поверхностных горизонтах дисперсных слабоокристаллизованных минералов железа, химически связанных с органическим веществом и способствующих агрегированности структуры почвы. Эти минералы повышают буферность почвы к тяжелым элементам. Когда же происходит чрезмерное накопление железа, сопровождаемое ростом окристаллизованности частиц (гидроксидов железа), разрывом их химических связей с гумусом и снижением микроагрегатированности структуры почвы, этот процесс рассматривается как экологически регрессивный. К таковым является формирование рудяков, латеритов, конкреционных горизонтов, кирас [6].

Разнообразие форм соединений, в виде которых железо находится в почве, приводит к тому, что определение содержания отдельных железистых минералов или веществ становится нецелесообразным. В этом плане более реальную генетическую и агрохимическую информацию возможно получить, определяя группы соединений железа, т.е. совокупность сходных по свойствам веществ, содержащих железо, которые могут быть извлечены из почвы действием группового растворителя [10].

Общепринятой схемы разделения соединений железа в почвах не существует. Наиболее удачная классификация принадлежит С.В. Зонну [7], который разделил валовое железо на две группы соединений: 1) силикатное, входящего в состав кристаллических решеток первичных и вторичных минералов; 2) несиликатное, или свободного, не находящегося в кристаллической решетке почвенных минералов; оно представляет собой группу окисных, гидроокисных и закисных соединений, как в различной степени окристаллизованных, так и аморфных, включающих железоорганические, обменные и водорастворимые соединения. Понятие подвижное железо по С.В. Зонну приложимо преимущественно к органо-минеральным и водорастворимым формам соединений.

Выделение двух групп соединений железа (силикатного и несиликатного) – характеризует степень выветренности почвенной массы, а их соотношения отражают характер или тип выветривания – почвообразования. По соотношению силикатного и несиликатного железа С.В. Зонн предложил характеризовать почвы, на их принадлежность к одной из трех групп: 1) ферраллитных - с содержанием несиликатного железа до 72-88 %, с минимальными резервами железа в силикатах. В ферраллитных почвах количество несиликатного железа может снизиться до 56 % при большом накоплении алюминия; 2) феррсиалитные – с содержанием силикатного железа от 22 до 63 %, несиликатного от 32 до 50-79 %; 3) сиаллитные – с содержанием силикатного железа 54-83 %, а несиликатного 17-46 %.

Несиликатные соединения железа определяют методом Мера-Джексона, силикатное – по разности между его валовым содержанием в почве и количеством несиликатного железа.

Группы соединений железа характеризуют количественные соотношения и отличия их по профилю распределения, но не вскрывают сущности элементарных процессов, формирующих почвы. Для последних необходимо располагать качественной характеристикой входящих в них соединений и их соотношением. На основе системы методов и расчетов С.В. Зонн свободные соединения железа (группа несиликатного железа) разделил на три формы соединений: 1. Окристаллизованные: а) сильноокристаллизованные; б) слабоокристаллизованные; 2. Аморфные: а) связанные с гумусом, б) не связанные с гумусом (железистые); 3. Подвижные соединения: а) обменные, б) водорастворимые (ионные).

Соединения железа различаются по растворимости их в различных реагентах, что позволяет выделить формы железа, обладающие не одинаковой подвижностью, реакционной способностью, возможностью

образовывать комплексы, трансформироваться в другие соединения железа [9].

Методы определения форм железа различны. Для подразделения несиликатного (свободного) железа на окристаллизованные и аморфные формы, используют метод Тамма. Найденное в вытяжке Тамма железо соответствует содержанию в почве аморфных его форм. По разности количеств железа в вытяжке Мера-Джексона и Тамма находят содержание окристаллизованных соединений несиликатного железа. Для подразделения окристаллизованных форм на сильно- и слабоокристаллизованные, а также для определения железа связанного с органическим веществом, используют метод Баскомба [7, 10].

Значение железа не ограничивается его особой ролью в формировании почвенного профиля и плодородия почв. Этот элемент является необходимым компонентом минерального питания растений [2].

Сельскохозяйственные культуры с урожаем выносят из почвы от 0,6 до 12,0 кг/га железа, для зерновых эта величина в среднем составляет 1,5 кг/га, зернобобовых – 2,2, клубне- и корнеплодов – 12,0 кг/га. Критический уровень железной недостаточности, оптимум и уровень токсичного содержания для большинства растений составляет соответственно 11-115, 28-250 и 251-500 мг/кг сухой массы [5, 12, 14].

Дефицит железа является проблемой для многих сельскохозяйственных культур, поскольку значительная часть окультуренных почв отличается низким содержанием доступных для растений подвижных его форм. В подвижном состоянии, как правило, находится не более 0,75-0,92 % общего количества этого элемента в почве. Основная часть железа связана в органические и труднодоступные для растений соединения [1].

«Находящееся в почве железо, – писал А.А. Шмук [15], – представлено преимущественно мало растворимыми, мало подвижными

коллоидными формами, как, например, гидрат окиси железа. Часть почвенного железа, несомненно, связана с фосфорной кислотой, и образует весьма трудно растворимые и сравнительно малоподвижные соли. Поэтому в почвенном растворе обычно обнаруживаются лишь весьма незначительные количества железа в ионной форме, большая же часть железа, находящаяся в почвенном растворе, представлена коллоидными формами».

Содержание в почве подвижного железа снижается по мере повышения значений рН солевой вытяжки от 3,5 до 6,5 ед. Количество подвижных его форм также зависит от гранулометрического состава почвы. Меньше всего подвижного железа содержат песчаные – 100-2200 мг/кг, незначительно больше – глинистые – 100-4750, больше всего пылеватые почвы – 500-7850 мг/кг. По почвенному профилю подвижные формы железа распределены неравномерно. Больше всего их в верхних горизонтах. Недостаток в железе растения могут испытывать еще и из-за его антагонизма с ионами марганца, фосфора и кальция. Поглощение железа растениями резко снижается при высоком содержании в почве названных элементов. Содержание подвижных соединений железа в почве уменьшается под воздействием вносимых под сельскохозяйственные культуры удобрений. Обусловлено это замещением катионов кальция ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)$) железом (FePO_4) с последующим превращением в трехзамещенные соли ($\text{Fe}_2(\text{OH})_3\text{PO}_4$), которые нерастворимы и слабо доступны растениям [2, 7, 12, 13].

С.В. Зонн [8] в заключительной части монографии «Железо в почвах» писал: «На фоне общего достаточного содержания железа в почвах уже сейчас происходит обеднение его свободными формами и, вероятно, обменными в ареалах распространения подзолистых лессивированных и глеевых почв (поверхностно- и грунтово-глеевых), и если не принимать профилактических и мелиоративных мер, то этот

процесс будет все усиливаться и снижать плодородие почв, так как с содержанием железа связаны азотный режим, обменная способность и т. д. Та же тенденция выявляется и в почвах с феррсиллитным, ферраллитным и аллитными процессами, с тем лишь отличием, что потери железа сказываются и на потере структурности и, следовательно, на ухудшении физических свойств, а также на переходе части железа в конкреционные и кирасные новообразования. Во всех остальных почвах естественный потенциал железа высокий и темпы перевода силикатного железа в свободные его соединения ниже, чем в ранее названных. Здесь более часто ощущается недостаток обменных и потребляемых растением форм соединений железа, что может быть косвенной причиной хлороза ряда культур. Кроме того, укажем, что значение железа как одного из важных элементов, прямо или косвенно влияющих на плодородие, велико, особенно в прогнозировании последнего на ближайшую и отдаленную перспективы.... Недоучет намечающихся тенденций в поведении различных форм железа может исказить оптимистические сценарные прогнозы неуклонного роста плодородия».

Цель исследований – изучение групп и форм соединений железа в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза.

Методика

Исследования проводились после завершения третьей ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота стационарного опыта кафедры агрохимии Кубанского госагроуниверситета, расположенного в учебном хозяйстве «Кубань».

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный слабогумусный сверхмощный легкоглинистый на лессовидных тяжелых суглинках. Основные агрохимические показатели, характеризующие обеспеченность

почвы железом до закладки эксперимента (1981 г.) приведены в опубликованных ранее работах [3, 8].

Для выявления действия системы удобрения севооборота на содержание железа в почве с неудобренного и ежегодно удобряемого варианта (за три ротации севооборота было внесено $N_{1740}P_{1740}K_{1160}$) с каждой повторности опыта отбирали почвенные образцы из пахотного 0-20 см и подпахотного 21-40 см слоя. Валовое содержание железа определяли методом разложения почвы фтористоводородной кислотой; несиликатного – по Мера-Джексону; аморфного – по Тамму; силикатного – по разности между валовым количеством и содержанием несиликатного.

Результаты и их обсуждение

Степень ожелезненности чернозема выщелоченного согласно общепринятой группировки почв средняя (табл. 2). В севообороте без удобрений в слое почвы 0-20 см и 21-40 см содержалось валового железа соответственно 3977 и 3922 мг/кг, в удобряемом варианте – 3914 и 3858 мг/кг. Иными словами не обнаружено заметной разницы в содержании его между удобряемым и не удобряемым вариантами севооборота. Не выявлено существенных различий и в содержании валового железа между пахотным 0-20 см и подпахотным 21-40 см слоями почвы.

Силикатное железо относят к неактивному, так как миграция его в почвенном профиле весьма ограничено. Оно является потенциальным резервом свободного железа. На неудобренном варианте к концу третьей ротации севооборота валовое железо в пахотном и подпахотном слое чернозема выщелоченного представлено на 69,4 и 66,5 % силикатной группой соединений элемента. Применяемая система удобрения сельскохозяйственных культур в севообороте сказалась на содержании

силикатного железа в почве. Доля его в валовом запасе в 0-20 см и 21-40 см слое почвы уменьшилась соответственно на 1,7 % и 1,4 % по сравнению с неудобренным вариантом.

Таблица 2 – Содержание валового железа и его групповой состав в черноземе выщелоченном, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Валовое	Группы	
			силикатное	свободное
Без удобрений	0-20	3977	2760	1217
	21-40	3922	2608	1314
NPK	0-20	3914	2650	1264
	21-40	3858	2511	1347

На долю свободного железа в пахотном и подпахотном слое почвы неудобренного варианта приходится 30,6 и 33,5 % его валового содержания. Увеличение доли свободного железа в валовом его запасе подпахотного слоя почвы связано с возможным образованием в нем слабоокристаллизованных форм за счет лессиважа. (Лессиваж – процесс, включающий механическое проиливание, комплекс физико-химических явлений, вызывающих диспергирование глинистых частиц и перемещение их с нисходящим током под защитой подвижных органических веществ, комплексообразование и вынос железа). Слабокислая и близкая к нейтральной реакция почвенного раствора и подвижные органические вещества (фульвокислоты) усиливают развитие лессиважа. Удобрения способствуют увеличению содержания свободного железа, как в пахотном, так и в подпахотном слое почвы.

Свободные соединения железа обладают способностью мигрировать по почвенному профилю. Однако, степень миграционной способности

входящих в состав свободного железа (аморфных и окристаллизованных) различается. Количественной характеристикой трансформации соединений железа в почвах является содержание различных форм свободного железа.

В таблице 3 представлены результаты исследований по содержанию в черноземе выщелоченном окристаллизованных и аморфных форм соединений железа.

Таблица 3 – Содержание различных форм несиликатного железа в черноземе выщелоченном, мг/кг

Вариант	Слой почвы, см	Формы железа	
		окристаллизованные	аморфные
Без удобрений	0-20	302	915
	21-40	344	910
NPK	0-20	292	972
	21-40	335	1012

Образование окристаллизованных форм соединений железа связано с существованием в почве устойчивых окислительных условий, аморфных – с восстановительными. Эти формы соединений элемента неустойчивы, и легко переходят одна в другую при смене условий их образования, т.е. при изменении окислительно-восстановительной обстановки в годовых и в сезонных циклах. Окристаллизованные формы нерастворимы, и передвижение их может осуществляться исключительно с илистыми частицами. В данном случае имеет место элювиальная илисто-железистая миграция. Аморфные – находятся преимущественно в коллоидальном состоянии и представляют железогумусовые комплексы, гидроокисные и закисные соединения, которые мигрируются с почвенным раствором по почвенному профилю. Кроме того, они входят в состав ила, образуют

пленки на поверхности почвенных коллоидов и передвижение их может осуществляться, как и окристаллизованных форм, вместе с илистыми частицами.

Данные по содержанию силикатных и свободных форм соединений железа в почве относительно малоинформативны. Значительно более показательным является соотношение этих групп железа, характеризующая интенсивность выветривания минеральной части почвы. Чем меньше величина этого соотношения, тем интенсивнее выветривание [9].

Применяемая система удобрения севооборота способствует повышению интенсивности выветривания минеральной части почвы (табл. 4). Величина соотношения силикатного и свободного железа в пахотном и подпахотном слое почвы в удобренном варианте была соответственно ниже на 0,17 % и 0,12 %, чем в варианте без удобрений.

Важным показателем, характеризующий агрономические свойства почвы, является величина отношения аморфного и окристаллизованного железа. Возрастание величины этого соотношения свидетельствует о разрушении структуры почвы и пептизации глинистой части, что обуславливает развитие процесса слитизации. Судя по полученным данным, просматривается слабо выраженная тенденция увеличения величины этого показателя под воздействием вносимых на поля севооборота минеральных удобрений.

Таблица 4 – Соотношение различных групп и форм железа в черноземе выщелоченном

Вариант	Слой почвы, см	$\frac{\text{Fe сил.}}{\text{Fe своб.}}$	$\frac{\text{Fe аморф}}{\text{Fe окр.}}$	$\frac{\text{Fe амо}}{\text{Fe своб}}$
		Без удобрений	0-20	2,27
	21-40	1,98	2,64	0,69
NPK	0-20	2,1	3,33	0,77
	21-40	1,86	3,02	0,75

С точки зрения характеристики почвенных процессов весьма показательным является степень активности железа, т. е. отношение $\text{Fe}_{\text{аморф.}} : \text{Fe}_{\text{своб.}}$. Этот показатель свидетельствует о высокой активности железа, как в пахотном, так и подпахотном слое почвы чернозема выщелоченного. Причем под воздействием удобрений повышается степень активности железа.

Выводы

Чернозем выщелоченный характеризуется средней степенью ожелезненности: в пахотном и подпахотном слое содержит 3977 и 3922 мг/кг общего железа. За три ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота в удобренном варианте наметилась слабовыраженная тенденция снижения валового содержания железа в почве.

При длительном использовании чернозема выщелоченного в условиях агрогенеза происходит существенные изменения в содержании различных групп и соединений железа. На не удобренном варианте севооборота валовое содержание этого элемента в 0-20 см и 21-40 см слое

почвы на 69,4 и 66,5 % представлена силикатной и на 30,6 и 33,5 % свободной группой соединений железа. Применяемая система удобрения севооборота способствует снижению доли силикатной и увеличению – свободной группы его соединений.

В черноземе выщелоченном группа несиликатного железа в 0-20 см слое на 24,8 % представлена окристаллизованными и на 75,2 % аморфными соединениями, в 21-40 см слое соответственно – на 26,2 и 73,8 %. Под воздействием удобрений возрастает содержание в почве аморфных и снижается количество окристаллизованных форм соединений этого элемента.

Количество различных групп и форм соединений железа в черноземе выщелоченном при систематическом применении удобрений в севообороте определяется не только и не столько размерами привнесения данного элемента в качестве примесей, а такими процессами, как отчуждение железа с дополнительно получаемой продукцией, увеличение его подвижности в почве вследствие сдвига реакции почвенного раствора, изменения фракционно-группового состава гумуса.

Диагностическими критериями состояния железа в черноземе выщелоченном являются количественные соотношения содержания в нем различных групп и форм соединений этого элемента. Содержание и соотношение железа в почве претерпевает закономерные изменения под влиянием удобрений: величина $\frac{\text{Fe аморф.}}{\text{Fe своб.}}$ возрастает, а $\frac{\text{Fe сил.}}{\text{Fe своб.}}$ снижается. Все это свидетельствует о повышении активности железа в почве под воздействием вносимых под культуры севооборота удобрений.

Литература

1. Бабанин, В.Ф. Исследование Fe–органических соединений почв методом ЯГР / В.Ф. Бабанин, А.Д. Воронин, Г.М. Зенова, Л.О. Карпачевский, А.С. Манучаров, А.А. Опаленко, Т.Н. Початкова // Почвоведение. 1976. №7. С. 128-134.

2. Бочко, Т.Ф. Окислительно-восстановительные процессы в почвах рисовых полей Кубани / Т.Ф. Бочко, К.М. Авакян, А.Х. Шеуджен, Е.М. Харитонов, И.Д. Черниченко, В.П. Суетов. - Майкоп: ВНИИ риса, 2002. - 52 с.
3. Вальков, В.Ф. Почвы Краснодарского края их использование и охрана / В.Ф. Вальков, Ю.А. Штампель, И.Т. Трубилин, Н.С. Котляров, Г.М. Соляник. - Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 1996. - 192 с.
4. Водяницкий, Ю.Н. Железистые минералы и тяжелые металлы в почвах / Ю.Н. Водяницкий, В.В. Добровольский. - М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1998. - 216 с.
5. Водяницкий, Ю.Н. Оксиды железа и их роль в плодородии почв / Ю.Н. Водяницкий. - М.: Наука, 1989. - 160 с.
6. Водяницкий, Ю.Н. Химия и минералогия почвенного железа / Ю.Н. Водяницкий. - М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2003. - 236 с.
7. Зонн, С.В. Железо в почвах / С.В. Зонн. - М.: Наука, 1982. - 208 с.
8. Кириченко, К.С. Почвы Краснодарского края / К.С. Кириченко. - Краснодар: Крайгосиздат, 1952. - 240 с.
9. Николаева, С.А. Формы соединений железа в почвах рисовых полей / С.А. Николаева, В.Д. Дерюжинская, А.В. Дуришова // Почвоведение. 1987. №7. С. 31-37.
10. Орлов, Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов. - М.: МГУ, 1985. - 376 с.
11. Пейве, Я.В. Биохимия почв / Я.В. Пейве. - М.: Сельхозиздат, 1961. - 422 с.
12. Шеуджен, А.Х. Агробиогеохимия / А.Х. Шеуджен. - Краснодар: КубГАУ, 2010. - 877 с.
13. Шеуджен, А.Х. Агрохимические основы применения удобрений / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева, С.В. Кизинек. - Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2013. - 572 с.
14. Шеуджен, А.Х. Железо в питании и продуктивности риса / А.Х. Шеуджен, В.В. Прокопенко, Т.Н. Бондарева, М.Н. Броун. - Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2004. - 152 с.
15. Шмук, А.А. Динамика режима питательных веществ в почве. Труды Т. 1 // А.А. Шмук. - М.: Пищепромиздат, 1950. - 372 с.

References

1. Babanin, V.F. Issledovanie Fe-organicheskikh soedinenij pochv metodom JaGR / V.F. Babanin, A.D. Voronin, G.M. Zenova, L.O. Karpachevskij, A.S. Manucharov, A.A. Opalenko, T.N. Pochatkova // Pochvovedenie. 1976. №7. S. 128-134.
2. Bochko, T.F. Okislitel'no-vosstanovitel'nye processy v pochvah risovyh polej Kubani / T.F. Bochko, K.M. Avakjan, A.H. Sheudzhen, E.M. Haritonov, I.D. Chernichenko, V.P. Suetov. - Majkop: VNIИ risa, 2002. - 52 s.
3. Val'kov, V.F. Pochvy Krasnodarskogo kraja ih ispol'zovanie i ohrana / V.F. Val'kov, Ju.A. Shtampel', I.T. Trubilin, N.S. Kotljarov, G.M. Soljanik. - Rostov-na-Donu: Izd-vo SKNC VSh, 1996. - 192 s.
4. Vodjanickij, Ju.N. Zhelezistye mineraly i tzhzhelye metally v pochvah / Ju.N. Vodjanickij, V.V. Dobrovolskij. - M.: Pochv. in-t im. V.V. Dokuchaeva, 1998. - 216 s.
5. Vodjanickij, Ju.N. Oksidy zheleza i ih rol' v plodorodii pochv / Ju.N. Vodjanickij. - M.: Nauka, 1989. - 160 s.
6. Vodjanickij, Ju.N. Himija i mineralogija pochvennogo zheleza / Ju.N. Vodjanickij. - M.: Pochv. in-t im. V.V. Dokuchaeva, 2003. - 236 s.
7. Zonn, S.V. Zhelezo v pochvah / S.V. Zonn. - M.: Nauka, 1982. - 208 s.

8. Kirichenko, K.S. Pochvy Krasnodarskogo kraja / K.S. Kirichenko. – Krasnodar: Krajgosizdat, 1952. – 240 s.
9. Nikolaeva, S.A. Formy soedinenij zheleza v pochvah risovyh polej / S.A. Nikolaeva, V.D. Derjuzhinskaja, A.V. Durishova // Pochvovedenie. 1987. №7. S. 31-37.
10. Orlov, D.S. Himija pochv / D.S. Orlov. – M.: MGU, 1985. – 376 s.
11. Pejve, Ja.V. Biohimija pochv / Ja.V. Pejve.- M.: Sel'hozizdat, 1961. – 422 s.
12. Sheudzhen, A.H. Agrobiogeohimija / A.H. Sheudzhen. – Krasnodar: KubGAU, 2010. – 877 s.
13. Sheudzhen, A.H. Agrohimicheskie osnovy primeneniya udobrenij / A.H. Sheudzhen, T.N. Bondareva, S.V. Kizinek. – Majkop: Poligraf-JuG, 2013. – 572 s.
14. Sheudzhen, A.H. Zhelezo v pitanii i produktivnosti risa / A.H. Sheudzhen, V.V. Prokopenko, T.N. Bondareva, M.N. Broun. – Majkop: GURIPP «Adygeja», 2004. – 152 s.
15. Shmuk, A.A. Dinamika rezhima pitatel'nyh veshhestv v pochve. Trudy T. 1 // A.A. Shmuk. – M.: Pishhepromizdat, 1950. – 372 s.